



高等院校应用型本科
智能制造领域「十三五」
规划教材



机械设计

JIXIE SHEJI

主编 李媛媛 王 萌



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



高等院校应用型本科智能制造领域“十三五”规划教材

机械设计

主 编 李媛媛 王 萌
副主编 张 晗 李红岩 朱根兴
何喜玲 黄 文 李海涛

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本教材是为了顺应目前新兴的基于信息化教学的新模式,总结近年来的教学改革与实践,参照当前最新技术标准编写而成的。同时为了适应应用型本科高校的教学理念,本书在传统内容的基础上进行了一些精简和补充,侧重讲解基本概念和标准的实际应用,淡化理论,以实用为主,并加强对例题的分析讨论,引导学生掌握正确运用设计公式、图表、标准规范,以及合理选取参数的能力,体现了应用技术大学教学特色。全书共分为13章:绪论,连接,带传动,链传动,齿轮传动,蜗杆传动,轴,摩擦、磨损及滑动轴承,滚动轴承,联轴器、离合器和制动器,弹簧,机座和箱体简介,减速器和变速器简介。为了便于学生更好地学习、掌握并巩固所学知识,本书大部分章节配有与各章对应的相当数量的习题,可供学生练习与复习之用。

本书可作为高等学校机械类各专业机械设计课程的教材,也可供有关专业的师生和工程技术人员设计时参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/李媛媛,王萌主编. —武汉:华中科技大学出版社,2019.8
高等院校应用型本科智能制造领域“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5680-5255-9

I. ①机… II. ①李… ②王… III. ①机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 167480 号

机械设计
JIXIE SHEJI

李媛媛 王 萌 主 编

策划编辑:余伯仲
责任编辑:邓 薇
封面设计:原色设计
责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913
武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:18.5

字 数:469千字

版 次:2019年8月第1版第1次印刷

定 价:49.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

为了适应应用型本科高校对高素质应用型人才培养的要求,在总结近年来工作过程中导向人才教学实践的基础上,来自黑龙江东方学院等多所院校教学一线的教师和行业技术人员编写了本书。

本书在保证学生掌握基本知识、基本理论、基本技能的前提下,不刻意强调理论分析,重点突出工程应用,以提高学生解决实际问题的能力,同时高度重视培养学生的创新意识和创新能力;精选教学内容,适度增加了反映科技发展的新知识、新技术和新理论;从提高学生的创新设计能力出发,比较全面地阐述了机械零件、部件及机构的基本概念、工作原理、设计方法和应用场合;加强了对机械设计的解析方法和机械创新设计的方法的介绍。本书具有以下特点:

(1) 紧密结合教学大纲,精简内容,加强基础,反映国内外最新成就,尽量做到少而精,便于学生自学。

(2) 全部采用最新的国家标准。

(3) 为了便于学生做到理论联系实际、学以致用,本书增加了一些结合实际的案例和习题。

(4) 适用面广,本书既适用于多学时讲授,也适用于少学时讲授。由于各章内容独立,各院校可根据专业的不同情况选用。本书可作为高等学校机械类各专业机械设计课程的教材,也可供有关专业的师生和工程技术人员设计时参考。

本书由黑龙江东方学院李媛媛、王萌两位老师任主编;由黑龙江东方学院张晗、李红岩,浙江工业大学之江学院朱根兴、何喜玲,西南交通大学希望学院黄文,中国航发哈尔滨轴承有限公司李海涛任副主编。具体编写分工如下:张晗(第1章、第3章);黄文(第2章);朱根兴(第4章、第13章);王萌(第5章、第10章);李媛媛(第6章、第7章、附录);李海涛(第8章);李红岩(第9章);何喜玲(第11章、第12章)。

本书的编写得到了各参编院校领导的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中定有疏漏和不足之处,欢迎同行和广大读者批评指正。

编 者

2019年7月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机械的组成	(1)
1.2 本课程的研究内容及性质	(2)
1.3 本课程的特点及学习方法	(2)
1.4 机械设计的基本要求和一般设计程序	(3)
1.5 机械零件计算准则和一般设计程序	(5)
第 2 章 连接	(10)
2.1 螺纹	(10)
2.2 螺纹连接的类型和标准连接件	(14)
2.3 螺纹连接的预紧	(18)
2.4 螺纹连接的防松	(21)
2.5 螺栓组连接的设计和受力分析	(23)
2.6 单个螺栓连接强度计算	(30)
2.7 提高螺栓连接强度的措施	(37)
2.8 螺旋传动	(43)
2.9 键连接	(49)
2.10 花键连接	(55)
2.11 销连接	(56)
2.12 其他形式的连接	(60)
本章习题	(71)
第 3 章 带传动	(79)
3.1 概述	(79)
3.2 V 带与带轮	(81)
3.3 带传动的理论基础	(86)
3.4 V 带传动设计	(91)
3.5 带传动的张紧、安装与维护	(97)
本章习题	(100)
第 4 章 链传动	(101)
4.1 概述	(101)
4.2 滚子链和链轮	(102)
4.3 链传动的运动特性	(105)

4.4	链传动的设计计算	(107)
4.5	链传动的布置、张紧与润滑	(110)
	本章习题	(112)
第5章	齿轮传动	(113)
5.1	概述	(113)
5.2	齿轮传动的主要参数	(114)
5.3	齿轮传动的失效形式及设计准则	(116)
5.4	齿轮常用材料及热处理	(119)
5.5	齿轮传动的作用力及计算载荷	(124)
5.6	标准齿轮传动的强度计算	(128)
5.7	齿轮的结构设计	(142)
5.8	齿轮传动的效率和润滑	(144)
	本章习题	(146)
第6章	蜗杆传动	(147)
6.1	概述	(147)
6.2	普通圆柱蜗杆传动的基本参数和几何尺寸计算	(149)
6.3	普通圆柱蜗杆传动的设计	(153)
6.4	普通圆柱蜗杆传动承载能力及热平衡计算	(155)
	本章习题	(160)
第7章	轴	(163)
7.1	概述	(163)
7.2	轴的材料	(164)
7.3	轴的结构设计	(166)
7.4	轴的强度计算	(172)
7.5	轴的刚度计算	(176)
7.6	轴的振动稳定性概念	(178)
	本章习题	(184)
第8章	摩擦、磨损及滑动轴承	(187)
8.1	概述	(187)
8.2	摩擦	(188)
8.3	磨损	(190)
8.4	润滑	(192)
8.5	滑动轴承的主要结构形式	(196)
8.6	滑动轴承的失效形式和常用材料	(197)
8.7	滑动轴承的轴瓦结构	(200)
8.8	非液体摩擦滑动轴承的设计计算	(201)
8.9	液体摩擦动压径向滑动轴承的设计计算	(202)
8.10	滑动轴承的润滑方式	(210)
8.11	液体动压润滑推力轴承的设计计算	(212)

8.12 其他形式滑动轴承简介	(214)
本章习题	(215)
第9章 滚动轴承	(216)
9.1 概述	(216)
9.2 滚动轴承的主要类型和特性	(217)
9.3 滚动轴承的代号	(218)
9.4 滚动轴承类型的选择	(222)
9.5 滚动轴承的设计计算	(222)
9.6 滚动轴承的组合设计	(229)
本章习题	(233)
第10章 联轴器、离合器和制动器	(235)
10.1 概述	(235)
10.2 联轴器	(236)
10.3 离合器	(242)
10.4 制动器	(246)
本章习题	(248)
第11章 弹簧	(249)
11.1 概述	(249)
11.2 弹簧的材料、许用应力及制造	(251)
11.3 圆柱螺旋压缩(拉伸)弹簧的结构及设计计算	(255)
11.4 圆柱螺旋扭转弹簧的结构及设计计算	(262)
11.5 其他弹簧简介	(264)
本章习题	(269)
第12章 机座和箱体简介	(270)
12.1 概述	(270)
12.2 机座和箱体的一般类型与材料选择	(270)
12.3 机座和箱体设计概要	(272)
12.4 机座和箱体的截面形状及肋板布置	(273)
第13章 减速器和变速器简介	(275)
13.1 减速器	(275)
13.2 变速器	(278)
13.3 摩擦轮传动简介	(280)
本章习题	(280)
附录	(281)
参考文献	(286)

第 1 章 绪 论

机械工业是国家经济发展的主要基础之一,几乎涉及所有的领域和部门。现代机械设计与生命科学、信息技术、材料科学一样,也是 21 世纪的主要研究和发展方向。现代机械设备包括智能机器人、全自动工作机械设备、全自动加工机械设备,以及全自动控制动力机械设备,等等。机械的创新设计几乎是所有机械设备完善、发展的第一步。机械学理论的创新理念、机械设计方法的创新思维显然是现代机械工业发展的前提和基础。

本课程涉及机械设计的基础理论和基本方法,因此属于机械设计的基础知识;主要论述机械设计的基本概念、基本原理,以及机械零件设计的基本方法。

1.1 机械的组成

通常,机械是机器和机构的总称。

机器种类很多,一般机器具有三个特征:①实物的组合;②各组合部分之间具有确定的相对运动;③可以完成机械功或转换机械能与电能。而只具有①②特征的构件组合,通常称为机构。机构是由构件组成的,而且具有一定的相对运动关系。因此,构件是机构运动分析的基本单元。

一般机器可分为两大类:动力机和工作机,提供或转换机械能的机器称为动力机,例如内燃机、燃气轮机、电动机等;利用机械能实现工作功能的机器称为工作机,例如机床、起重机、轧钢机、洗衣机等。

用来进行信息传递和变换的机器称为仪器,例如测量仪、照相机、录像机、电视机、光谱仪等。

机器由动力装置、传动装置、执行装置及其支架基础四个基本部分组成。现代自动化程度高的机器,还包括自动控制系统、监测系统及辅助系统。

机器是由零件组成的。零件具有一定的形状、尺寸和材料实体关系,是机器的组成要素和制造单元。为了便于制造、安装、维修和运输,也可以将一台机器分成若干个相互独立,但又相互关联的零件组合,称为部件。显然部件是由一定数目的机械零件组成的。

机械零件一般可以分为两大类:通用零件和专用零件。可以广泛应用于各种不同类型的机器中的机械零件称为通用零件。仅能在某种类型的机器中使用的机械零件称为专用零件,例如内燃机的曲轴、活塞,汽轮机的叶片,船舶的螺旋桨,机器人的机械手。

为了便于生产、降低成本、适用于标准化选用,多数通用零件具有固定的尺寸和参数。这种零件称为常规通用零件。具有标准代号的零件或部件又称为标准件。在特种工况下使用、满足个别特殊尺寸、参数要求的通用零件,称为特殊通用零件。

1.2 本课程的研究内容及性质

机械设计作为现代机械设备设计基础的入门课程,介绍机械设计的基本知识、基本理论和基本方法,研究机械设计中常用机构的运动分析方法,以及常用通用机械零件的设计方法。

本书具体内容如下。

(1) 研究常用机构的基本设计方法及创新设计方法。常用机构包括:连杆机构、齿轮机构、凸轮机构、间歇机构及轮系。重点介绍常用机构的组成、工作机理、运动特性、动力特性等知识。

(2) 研究通用零部件的基本设计方法。通用零部件主要包括:①连接零件(螺纹连接、普通导键连接、花键连接及销连接、焊连接、胶连接等);②传动零件(齿轮传动、蜗杆-蜗轮传动、带传动、链传动等);③轴系零件(轴、滑动轴承、滚动轴承、联轴器、离合器等);④机架及箱体。

(3) 介绍现代设计方法及创新设计思维。

(4) 介绍国家标准、设计手册的查阅方法。

通过教学、例题讲解、研讨、实验,学生能掌握机械设计的基本理论和方法,具有运用机械设计手册、标准等资料的能力,为从事现代机械设备的设计打好基础。

本课程的特点:设计的创新性、实践性,设计方法的综合性及标准规范通用性。

1.3 本课程的特点及学习方法

本课程和基础理论课程相比较,是一门综合性、实践性很强的设计性课程。因此学生在学习时必须掌握本课程的特点,在学习方法中尽快完成由单科向综合、由抽象向具体、由理论到实践的思维方式的转变。通常,在学习本课程时应注意以下几点:

(1) 要理论联系实际。本课程研究的对象是各种机械设备中的机构和机械零部件,与工程实际联系紧密,因此学生在学习时应利用各种机会深入生产现场、实验室,注意观察实物和模型,增加对常用机构和通用机械零部件的感性认识。了解机械的工作条件和要求,然后从整台机械设备分析入手,确定出合理的设计方案、设计参数和结构。

(2) 要抓住“设计”这条主线,掌握常用机构及机械零部件的设计规律。本课程的内容看似杂乱无章,但是无论是常用机构,还是通用机械零部件,在设计时都遵循着共同的设计规律,只要抓住“设计”这条主线,就能把本课程的各章内容贯穿起来。

(3) 要努力培养解决工程实际问题的能力。多因素的分析、设计参数多方案的选择、经验公式或经验数据的选用及结构设计,是解决工程实际问题中经常遇到的问题,也是学生在学习本课程中的难点。因此,学生在学习本课程时一定要尽快适应这种情况,按解决工程实际问题的思维方法,努力培养自己的机械设计能力,特别是机械系统方案设计能力和结构设计能力。

(4) 要综合运用先修课程的知识解决机械设计问题。本课程研究的各种机构和各种机械零部件的设计,从分析研究、设计计算,直至完成零部件工作图,要用到多门先修课的知识,因此,学生在学习本课程时必须及时复习先修课的有关内容,做到融会贯通、综合运用。

1.4 机械设计的基本要求和一般设计程序

1.4.1 机械设计的基本要求

为了使机械实现预期的功能、安全有效地工作,设计时应满足以下基本要求。

1. 使用要求

在设计机械时,使所设计的机械能在预定的寿命内可靠地工作,即具有足够的强度、刚度、耐磨性,以及振动稳定性;使机械达到规定的运动、动力和精度要求,而且工作效率高。

2. 经济性要求

设计的机械在满足使用要求的前提下,必须充分考虑其经济性要求,力求降低制造成本。为此,要达到:

- (1) 具有良好的工艺性;
- (2) 符合标准化的要求;
- (3) 合理选择材料;
- (4) 合理确定零件的寿命;
- (5) 要尽量减少使用和维护费用。

3. 工作安全、操作方便

安全是机械正常工作的保证。操作越简单方便,越能使更多的人更快掌握操作技术,使机械得到广泛的应用。

1.4.2 机械设计的一般程序

机械设计是一项创造性劳动,同时也是对已有成功经验的继承过程。根据实际情况的不同,机械设计可以分成三种类型。

1. 开发性设计

在机械产品的工作原理和具体结构等完全未知的情况下,应用成熟的科学技术或经过实验证明是可行的新技术,开发设计新产品,这是一种完全创新的设计。

2. 适应性设计

在对现有机械产品的工作原理、设计方案不变的前提下,仅做局部变更或增加附加功能,在结构上做相应调整,使产品更能满足使用要求。

3. 变形设计

机械产品的工作原理和功能结构不变,为了适应工艺条件或使用要求,改变产品的具体参数和结构。

机械是多种多样的,其设计过程也不尽相同,但共同遵循的设计规律还是一样的。机械的一般设计程序流程如图 1-1 所示。

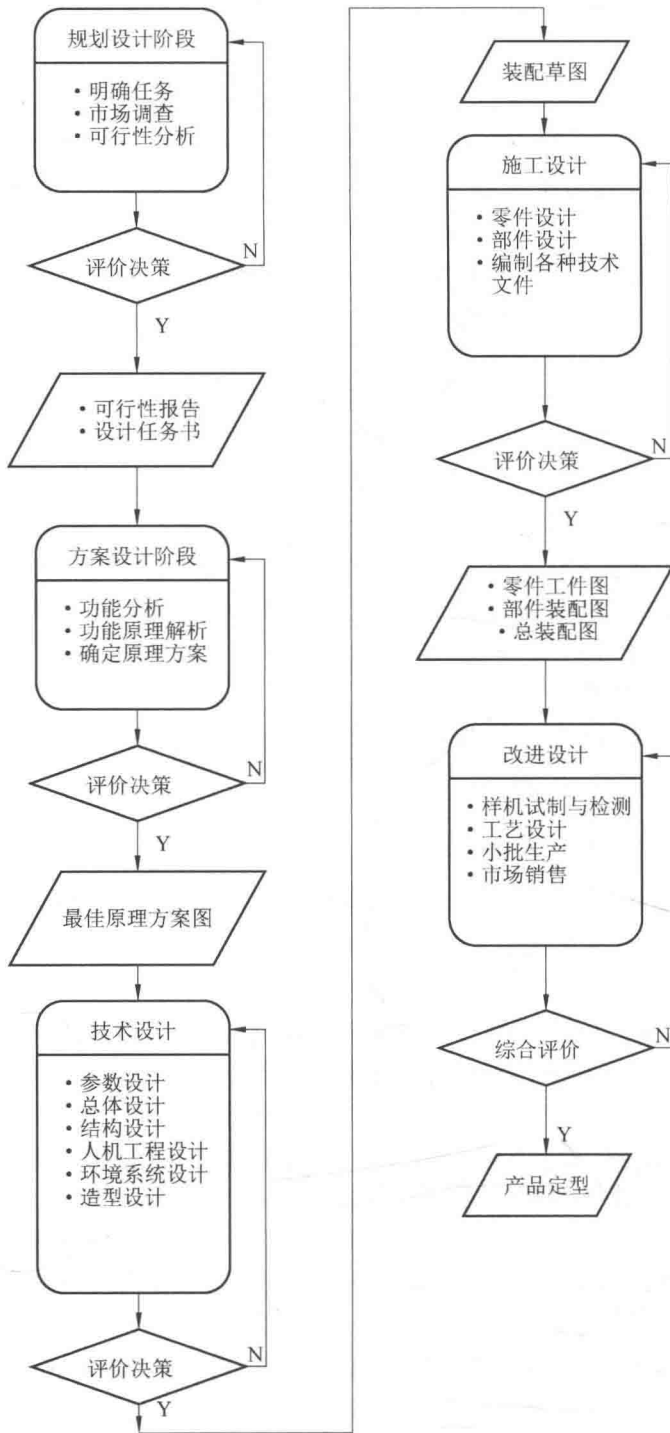


图 1-1 设计程序流程

1.5 机械零件计算准则和一般设计程序

1.5.1 机械零件的工作能力

在进行机械设计时,除要求在预定寿命内实现预定的功能的前提下,还要满足性能好、效率高、成本低、安全可靠、操作方便、维修简单和造型美观等要求。

设计机械零件时,也必须考虑上述要求,也就是要求零件具有工作能力。

零件工作能力:在不发生失效的条件下零件所能安全工作的限度。通常,此限度是对载荷而言,所以习惯上又称之为承载能力。

失效:机械零件由于某种原因不能正常工作时,称为失效。零件的失效形式通常是断裂或疲劳断裂、疲劳点蚀、摩擦磨损、塑性变形和失去振动稳定性以及产生共振等。

1.5.2 机械零件的计算准则

零件工作能力衡量指标称为零件的工作能力准则。它是计算确定零件基本尺寸的主要依据,故称为计算准则。

主要计算准则:强度、刚度、耐磨性、振动稳定性和耐热性。设计机械零件时,根据不同情况选择某一个或某几个准则进行计算。

1. 强度

在理想平稳工作条件下,作用在零件上的载荷为名义载荷;按照这一载荷计算出来的应力称为名义应力。然而,有的机器运转时,在名义载荷作机械零件工作时还有附加载荷,通常用载荷系数 K_A 来估计附加载荷的影响。而名义载荷与载荷系数之积,称为计算载荷。按照这一载荷计算出来的应力称为计算应力。

强度是衡量机械零件工作能力最基本的计算准则。机械零件必须满足强度条件。对于应力产生在零件内部各个剖面上的体积强度,其强度条件为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad \text{或} \quad \tau \leq [\tau] \quad (1-1)$$

式中: σ, τ ——零件的正应力和切应力,可以通过拉、压、扭、剪、弯及其组成的复合强度的数学模型进行计算;

$[\sigma], [\tau]$ ——零件材料的正应力和切应力的许用值。

对于应力只产生在零件相接触的表面层的接触强度,其强度条件为

$$\sigma_H \leq [\sigma_H] \quad (1-2)$$

式中: $\sigma_H, [\sigma_H]$ ——零件的接触应力及零件材料的许用应力。

接触强度是机械零件抵抗疲劳点蚀破坏的能力。接触应力的计算公式,可由图 1-2 并通过弹性力学的分析而获得,即

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{b} \cdot \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\pi \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} - \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (1-3)$$

式中: σ_H ——最大接触应力;

b ——接触长度；

F_n ——法向外载荷；

ρ_1, ρ_2 ——相接触两圆柱的曲率半径, $\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}$ 用于外接触, $\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}$ 用于内接触；

μ_1, μ_2 ——材料的泊松比；

E_1, E_2 ——材料的弹性模量。

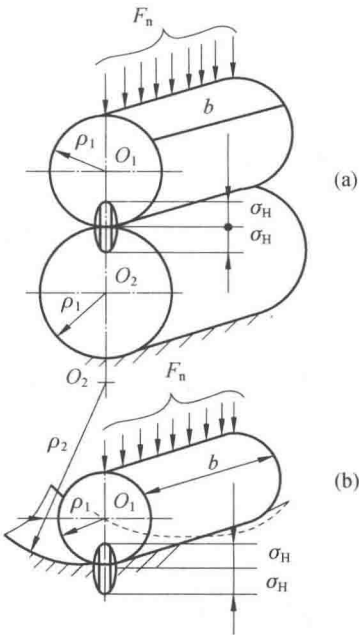


图 1-2 圆柱接触应力

体积强度又简称强度,主要衡量轴类零件的工作能力;接触强度主要衡量点、线接触的齿轮、滚动轴承及凸轮等的工作能力。

2. 刚度

刚度是零件抵抗弹性变形的能力。例如轴类零件要想正常工作,必须有足够的刚度。机械零件的刚度条件为

$$y \leq [y]; \theta \leq [\theta]; \varphi \leq [\varphi] \quad (1-4)$$

式中: y, θ, φ ——零件工作时的挠度、偏转角和扭转角;

$[y], [\theta], [\varphi]$ ——零件的许用挠度、偏转角和扭转角,对于不同精度机械中的零件,其值是不同的,可参考有关手册。

3. 耐磨性

机械零件在运转时总会磨损,磨损后的零件改变了原来的结构尺寸,因而降低了机械的精度和效率,减弱了零件的强度,以致零件失效,甚至使机械报废。

世界上各种使机械报废的零件中,约 80%是由磨损引起的。

在机械设计中,总是力求提高零件的耐磨性,尽量减少零件的磨损。

为了掌握摩擦磨损的理论,人们努力对磨损的各种基本形式(磨料磨损、黏着磨损、接触疲劳磨损,以及腐蚀磨损)进行研究,然而迄今为止尚无统一的理论计算方法,通常采用条件性计算,即

$$p \leq [p] \quad \text{或} \quad pv \leq [pv] \quad (1-5)$$

式中: p ——表面上的压强,MPa;

$[p]$ ——材料的许用压强,MPa;

v ——工作表面线速度,m/s;

$[pv]$ —— pv 的许用值,MPa·(m/s);

通过控制压强 p 和 $p v$ 值的办法控制机械零件的磨损。

4. 振动稳定性

机械是运动的,特别是高速运转的机械容易发生振动现象。当机械或机械零件的自振频率与周期性干扰力的频率相近或相等时,就会发生共振。共振不仅影响机械的正常工作,甚至造成机械的损坏,故称这种共振现象为失去振动稳定性。为了避免共振,必须使自振频率远离干扰力的频率。为此,可用增加或减少零件的刚度,或增添弹性元件等办法来解决这个问题。

5. 耐热性

机械零件在高温下工作,会出现蠕变(金属中应力数值不变,但发生缓慢而连续的塑性变形),降低其强度极限和疲劳极限,并且引起热变形、产生附加热应力,以及破坏正常润滑条件等。为此,必须进行蠕变计算和热平衡计算,控制工作温度不超过许用工作温度。

1.5.3 零件的许用应力

1. 应力的分类

(1) 静应力:不随时间变化的应力,如图 1-3(a)所示。

(2) 变应力:随时间变化的应力,如图 1-3(b)(c)(d)所示。其中,具有周期性变化的应力,称为循环变应力,如图 1-3(c)所示;一般非对称循环变应力,如图 1-3(b)所示。

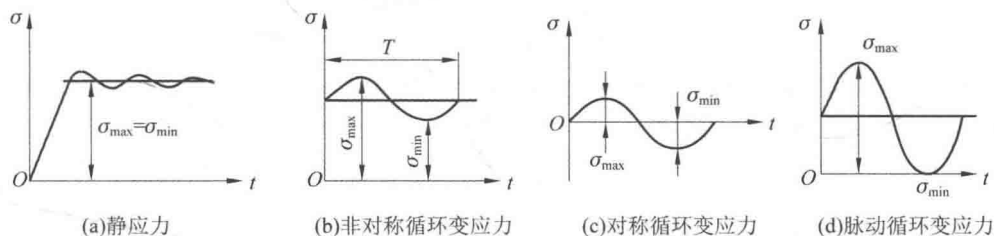


图 1-3 应力类型

循环特性用 r 表示,等于最小、最大应力之比, $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ 。

应力变化的幅度可用平均应力 σ_m 和应力幅 σ_a 表示,即

$$\begin{cases} \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2 \\ \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2 \end{cases} \quad (1-6)$$

对称循环变应力,因 $\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$,故其循环特性 $r = -1$,平均应力 $\sigma_m = 0$,应力幅 $\sigma_a = \sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$ 。

脉动循环变应力,因最小应力 $\sigma_{\min} = 0$,则循环特性 $r = 0$,其 $\sigma_a = \sigma_m = \sigma_{\max}/2$ 。

静应力则可看作变应力的特例, $\sigma_{\min} = \sigma_{\max}$,则循环特性 $r = +1$,而 $\sigma_a = 0$, $\sigma_m = \sigma_{\max}$ 。

2. 零件的许用应力

在静应力作用下,零件的许用应力为材料的极限应力 σ_{lim} (τ_{lim})与安全系数 S 之比,即

$$[\sigma] = \sigma_{lim}/S \quad \text{或} \quad [\tau] = \tau_{lim}/S \quad (1-7)$$

零件在静应力作用下的失效主要有两种:断裂和塑性变形。

(1) 对于塑性材料,按不发生塑性变形的条件确定极限应力,故取 $\sigma_{lim} = \sigma_s$;

(2) 对于脆性材料,应按强度条件确定极限应力,故取 $\sigma_{lim} = \sigma_b$,则可得正应力的许用应力 $[\sigma]$ 。

切应力的许用应力:

塑性材料 $[\tau] = (0.5 \sim 0.6)[\sigma]$

脆性材料 $[\tau] = (0.8 \sim 1.0)[\sigma]$

在变应力作用下,零件会出现疲劳断裂。疲劳断裂是在远低于强度极限的应力作用下的断裂,没有明显的塑性变形,在断口上出现裂纹摩擦形成的光滑区,另一个是最终发生脆性断裂的粗粒区。发生疲劳断裂是损伤积累的结果。

由实验可得到描述应力和循环次数之间关系的疲劳曲线,如图 1-4 所示。

当循环次数 N 大于等于循环基数 N_0 时, 材料的应力就不再变化, 这个应力称为材料的对称循环疲劳极限 σ_{-1} 。

当 $N < N_0$ 时, 疲劳曲线方程为

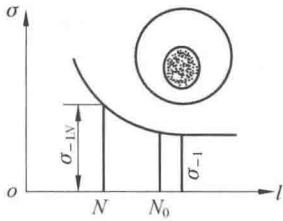


图 1-4 疲劳曲线

$$\sigma_{-1N}^m \cdot N = \sigma_{-1}^m \cdot N_0 = C (\text{常数}) \quad (1-8)$$

$$\sigma_{-1N} = \sigma_{-1} \cdot \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} = K_N \cdot \sigma_{-1} \quad (1-9)$$

式中: N_0 ——循环基数, $N_0 = (1 \sim 10) \times 10^6$;

σ_{-1N} ——循环次数 N 对应的疲劳极限;

m ——幂指数, 对钢材的弯曲疲劳和拉压疲劳, $m = 6 \sim 20$; 对中等尺寸的钢制零件弯曲时, 取 $m = 9$;

K_N ——寿命系数, $K_N = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}}$ 。

变应力的许用应力, 是材料的极限应力与安全系数之比, 并且要考虑应力集中系数 k_σ 、尺寸系数 ϵ_s 和表面状态系数 β 的影响:

$$[\sigma_r] = \frac{\epsilon_s \beta \sigma_{r\text{lim}}}{k_\sigma S} \quad (1-10)$$

式中: $[\sigma_r]$ ——循环特性为 r 的许用应力;

$\sigma_{r\text{lim}}$ ——材料弯曲应力极限; 对称循环, $r = -1$, $\sigma_{r\text{lim}} = \sigma_{-1}$; 脉动循环, $r = 0$, $\sigma_{r\text{lim}} = \sigma_0$; 由此可以计算许用应力 $[\sigma_{-1}]$ 和 $[\sigma_0]$ 的值。

当应力的作用次数 $N < N_0$ 时, 只要计算出与 N 对应的寿命系数, 代入式 (1-9), 即可得 σ_{-1N} 。

零件接触强度的许用应力, 为零件材料的接触应力的极限值与安全系数之比, 即

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H\text{lim}}}{S} \quad (1-11)$$

式中: $[\sigma_H]$ ——许用接触应力;

$\sigma_{H\text{lim}}$ ——材料的接触应力极限。

1.5.4 零件的安全系数

安全系数的选取决定着零件结构是笨重, 还是小巧, 以及其能否保证工作安全。

安全系数的选择, 有两种方法。

1. 查表法

详见各章中零件的安全系数选取。对于没有专门表格的零件, 其安全系数可以参考下述原则确定。

(1) 静应力作用下, 塑性材料可以缓和过大的局部应力, 故可取安全系数 $S = 1.2 \sim 1.5$; 塑性较差的材料 (如 $\sigma_s / \sigma_b > 0.6$) 或铸件, 可取 $S = 1.5 \sim 2.5$ 。

(2) 静应力作用下, 脆性材料应取较大的安全系数。对于高强度钢或灰铸铁, 可取 $S = 3 \sim 4$ 。

(3) 变应力作用下, 一般材料可取 $S = 1.3 \sim 1.7$; 材料不够均匀, 计算不够精确时, 可取 $S = 1.7 \sim 2.5$ 。

2. 部分安全系数法

部分安全系数, 即用几个系数的连乘积表示总的安全系数。

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1-12)$$

式中： S_1 ——考虑载荷及应力计算的准确性，一般取 $S_1 = 1 \sim 1.5$ ，计算准确时取小值；

S_2 ——考虑材料可靠性系数，对于锻钢件或铸钢件，取 $S_2 = 1.2 \sim 1.5$ ；对于铸铁件，取 $S_2 = 1.5 \sim 2.5$ ，材料性能可靠时取小值；

S_3 ——考虑零件重要性系数，一般取 $S_3 = 1 \sim 1.5$ ，零件损坏将引起重大事故或难以修复时，应取大值。

1.5.5 机械零件设计的一般步骤

设计机械零件的一般步骤大致可归纳如下：

(1) 根据零件在机器中的作用和工作情况，选择其类型并拟订计算简图，确定作用在零件上的载荷。

(2) 在理想的平稳条件下，作用在零件上的载荷称为名义载荷，实际上，零件工作时，还可能受到各种附加载荷作用，通常引用载荷系数来考虑附加载荷的影响，名义载荷与载荷系数的乘积称为计算载荷。

(3) 根据零件的使用、工艺和经济三方面的要求，选择合适的材料（例如蜗齿的齿圈和芯）。

(4) 根据零件的工作能力和计算准则确定其主要尺寸（如轴径），并加以圆整或取标准值。

(5) 绘制零件工作图并标注必要的技术条件等。

以上所述为零件设计计算的一般步骤，在实际工作中常有校核计算，先利用类比法等初步拟定零件的结构和尺寸，然后再按工作能力计算准则进行校核计算。

第 2 章 连 接

连接指通过一定的方式将两种分离型材或零件连接成一个复杂零件或部件的过程。我们所使用的机器都是通过一定的连接方式将一个零件连接起来形成的。因此,机械设计人员必须熟悉各种机器中所用的连接方法,以及有关连接零件的结构、类型、性能、使用场合,掌握它们的设计理论或选用方法。

机械连接有两大类:运动连接和固定连接。运动连接是在机器工作时被连接的零(部)件间可以有相对运动的连接,也称为机械运动连接,如各种运动副;固定连接是在机器工作时,被连接的零(部)件间不允许产生相对运动的连接,也称为机械静连接。固定连接是所要讨论的内容,本书中,除了指名为运动连接外,所用到的连接,均指机械静连接。

连接根据其是否可拆卸又分为可拆连接和不可拆连接,可拆连接是不损坏任一零件就可拆开的连接,故多次装拆不影响其使用性能,如螺纹连接、键连接、无键连接及销连接等,其中又以螺纹连接和键连接应用最广;不可拆连接是至少必须损坏某一部分才能拆开的连接,如铆钉连接、焊接、胶接等。过盈连接既可以做成可拆的,也可以做成不可拆的连接,在机器中也常使用。

连接根据其工作原理的不同可分为三类:形锁合连接、摩擦锁合连接及材料锁合连接。形锁合连接是靠被连接件或附加固定零件的形状相互嵌合,使其产生连接作用,如铰制孔用螺栓连接、平键连接等。摩擦锁合连接是靠被连接件的压紧,在接触面间产生摩擦力,阻止被连接件的相对移动,达到连接的目的,如受横向载荷的紧螺栓连接、过盈连接等。材料锁合连接是在被连接件间涂敷附加材料,靠其分子间的分子力将零件连接在一起,如胶接、钎焊等。

根据上述各种连接的使用广泛性,本章将着重讨论螺纹连接和键连接,并对销连接、无键连接、铆钉连接、焊接、胶接的基本结构形式和性能,以及过盈连接的基本原理和设计方法作一概略的介绍,另外,由于螺旋传动也是利用螺纹工作的,所以在本章内对其一并讨论。

在设计被连接零件时,除应考虑强度、刚度及经济性等基本问题外,在某些场合(如用于锅炉、容器等),还必须满足紧密性的要求。当一个连接中包含多个危险截面和工作面时,要以其中最薄弱的部位来决定连接的工作能力。另外,应尽可能将连接件设计成等强度,使连接中各零件充分发挥其承载能力。

2.1 螺 纹

将一直角三角形绕在一圆柱体上,使三角形的底边与圆柱体底面圆周重合,则三角形的斜边在圆柱体表面上就形成一条螺旋线,如图 2-1 所示。三角形的斜边与底边的夹角 λ ,称为螺旋线升角。若取一平面图形,使其平面始终通过圆柱体的轴线并沿着螺旋线运动,则这平